

地理情報を用いた総合化貯留関数法導出の試み

水文気象研究室 木暮 匠倫
指導教員 陸 旻皎

1. 研究目的

近年，中小河川における洪水被害が増加しており，防災対策が急務とされている．しかし，現在問題となっている中小河川では，洪水流出解析に必要な水文基礎資料が不足している．その様な中でも，防災対策は急務であり，多少精度が悪くなるとしても洪水流出解析を行うことの出来る手法が望まれている．

また，貯留関数法は日本国内で実務において多くの河川で用いられている流出解析法である．貯留関数法は，流入及び流出の流量データを必要とするのみで，比較的少ない資料の元で利用可能なモデルである．

その様な現状を踏まえ，貯留関数法の定数を，地形量から推定する総合化という手法がいくつか提案されている．しかしながら，現在考えられている総合化手法は使用可能な流域面積が限られていることや山地流域に限定されているなど，対象が限られており，実用的であるとは言い難い．そのため本研究では水文基礎資料の少ない中小河川で適用でき，且つ，利用可能な流域面積が広い貯留関数法の総合化定数推定式を得る事を目的とする．さらに総合化手法に地理情報として河川分類指標という概念を取り入れ，より対象が広い総合化手法を導くことを目的とする．

2. 流出モデル概要

貯留関数法は木村(1962)によって提案された洪水流出計算法である．貯留関数法は流域を1つのタンクとして考える(図 1)集中型と呼ばれる洪水流出計算法である．この貯留関数法は流出現象の非線形性を巧みに表現しており，且つ，計算が容

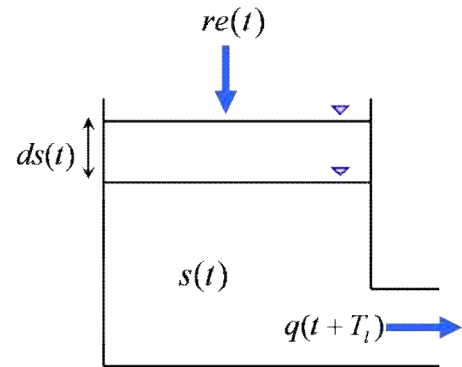


図 1 貯留関数のタンクモデル

易なこともあり，日本では大河川を中心に広く実用的に利用されている．

本研究における貯留関数法の基礎式としては以下を与える．

$$\frac{ds(t)}{dt} = r_e - q(t) \quad (1)$$

$$s(t) = Kq(t + T_l)^P \quad (2)$$

$$r_e = fr \quad (3)$$

ここに， $q(t)$:流量[mm/h]， $s(t)$:貯留量[mm]， r_e :有効降雨 [mm/h]， r :観測降雨 [mm/h]， t :時間 [h]， f :流入係数， K, P, T_l :貯留関数法におけるパラメータ．



図 2 対象水系位置

また、本研究で用いるデータは北海学園大学によって編集された「北海道内一級河川洪水データ集」を用いる。対象となる流域は北海道内の一級河川13水系内の90流域、対象となるイベントは463イベントである。図(2)

3. モデル設定

観測より得られるハイドログラフについて、直接流出と基底流出の分離点に近いデータは変化が少なく、直接流出と基底流出を厳密に分離することは非常に困難である。また、分離点近くはデータ数が多く、線形近似によってパラメータを求める場合、その付近ではデータ数が多く、誤差を多く含む可能性がある値が多くあることで、パラメータの正確性が変化する。本研究では特に洪水のピークの流量に注目した。図()のようにピーク流量から一定の割合に含まれるデータのみを利用することによって、データの分離点付近にある不確実性の強いデータを取り除こうと考えた。今回は使用するデータの割合を50%~90%の間に設定し、それぞれにおいて計算を実施したところ、90%以上の値を用いて設定する場合がもっとも良い当てはまりを示した。しかし、(図3)を見ても確認できるようにピークの90%以上に当てはまるデータはとても少ない。その場合たとえ今回の試算であてはまりが良かったとしても、統計上の安定性の観点からすれば非常に疑問が残ることとなる。そのため、本研究では次に当てはまりが良い、ピークの60%以上の値を閾値として線形近似を行うということとする。

4. 総合化定数推定式

地理情報で定数を推定するために、まず流域面積との直接的な関係から、次式を得た。

$$K = 4.169 \times A^{0.203} \quad (4)$$

ここに、 K ：貯留関数のパラメータ、 A ：流域面積[km^2]。図(4)

また、式の当てはまりの良さを表す決定係数は以下のような値となった。

$$R^2 = 0.217$$

5. 地理情報

流域は河道と斜面の組み合わせによって構成されていると考えれば、その組み合わせは無限に考えられる。図5は同様の流域面積であるが、流域の形状が異なった場合の変化を示している。同様の流域面積の流域でも流域の構成が異なっているため、その流域内での反応も異なってしまう。

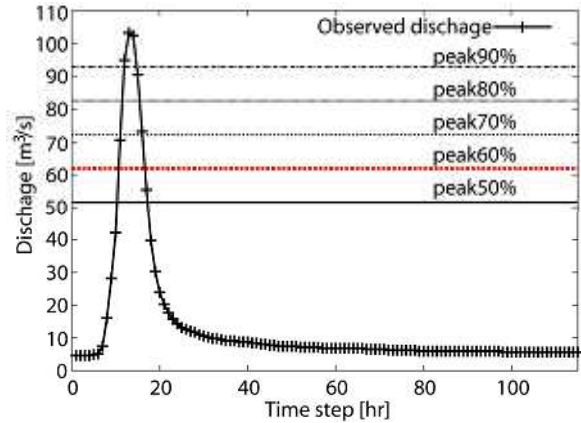


図3 ピークによるデータ抽出例

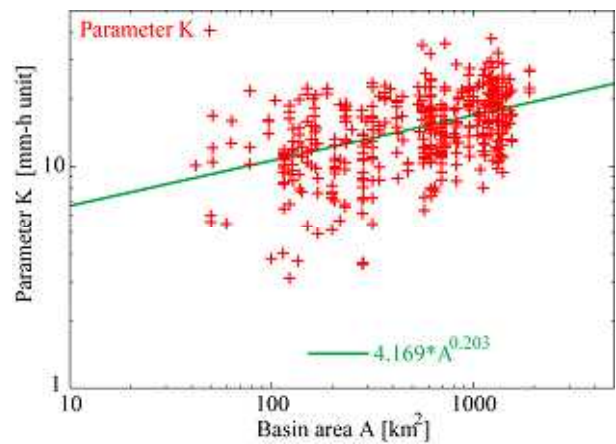


図4 流域面積とパラメータKの関係

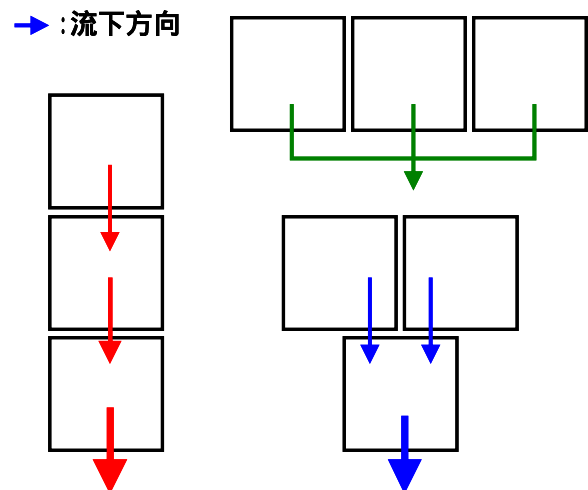


図5 流域の組み合わせ

実際に流出現象を確認すると図(6)の様にピークの大きさやピークの時間に明らかな差異が認められる。

そのため、本研究では流域面積では不足している流域の特徴を捉える情報、すなわち地理特性を評価するものとして、河川分類指標という指標を用いる。河川分類指標は様々な指標が考えられており、この指標の中には比較的収集し易い情報を元に判断される指標がいくつかある。本研究では様々なこの河川分類指標の内、6つの指標を取り上げ、総合化定数推定式と組み合わせることで流域の地理的な要因の貯留関数への影響について検討する。

本研究でいう地理情報とは、場所、座標、標高、地球上の位置と関連付けられる地物や事象をデータ化したものを示す。地理情報は、地図上で表現される点、線、面の図形データと、その図形データの内容を表す文字や数値等の属性から構成されており、本研究では「NK-GIAS」という日本工営株式会社によって製作されたGIS(Geographic Information System)ソフトを利用している。このソフトは日本工営が水文解析業務に利用するため開発中のもので、水文解析に特化したGISソフトである。このソフトを用いて本研究で抽出したデータは、流域面積、標高、勾配、流路延長等である。データの抽出に使用するデータは、国土地理院発行の「1/25000 数値地図」及び「数値地図 50m メッシュ(標高)」を用いた。

6. 地理情報を用いた総合化定数推定式

$$K = aA^b I^c w^d i^e \quad (5)$$

ここに、 K ：貯留関数のパラメータ、 A ：流域面積[km^2]、 I ：総流路河床勾配、 w ：流域平均幅、 f ：形状係数、 i ：本川流路河床勾配。

また、 $a = 6.645$ 、 $b = 0.203$ 、 $c = 0.282$ 、 $d = -0.180$ 、 $e = -0.191$ 。

以上の2式を用いて実際イベントに適用して、その定数推定式の信頼性を確認した。両式とも比較的どのイベントに対しても安定した再現結果を得ることができている。また、図(7)のように計

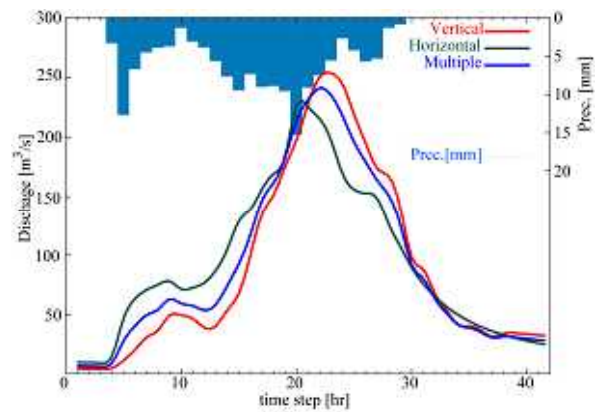


図 6 流域形状による流出の変化

算ピーク流量と観測ピーク流量を比較してみると、全体としてやや流出量を過小評価気味であり、特に出水量の少ないイベントにおいて、過小評価の傾向が大きいことが判明した。

7. 式の検証

同定パラメータと推定パラメータの残差について、平均値 \pm 標準偏差の間に入るデータ数を評価すると、表(1)に示すように、式(5)の方がより集中していることがわかる。すべてのイベントについて、次式(6)で表される Nash and Sutcliffe の効率係数 e を考えると、式(5)の方が対象イベント全体でわずかではあるが、良い再現性を示している。

$$e = 1 - \frac{\sum (Q_o - Q_s)^2}{\sum (Q_o - \bar{Q}_o)^2} \quad (6)$$

ここに、 Q_s ：各時間ステップの計算流量、 Q_o ：実測流量、 \bar{Q}_o ：実測流量の平均値。

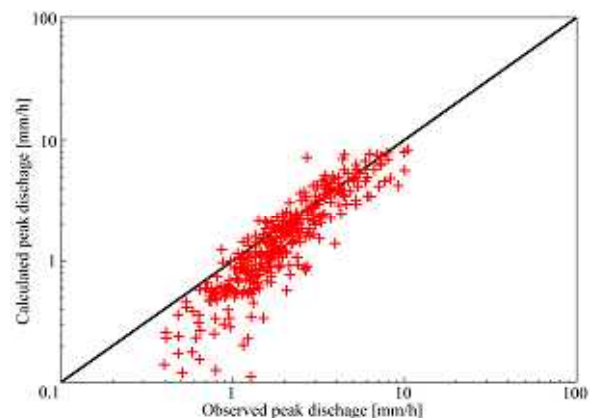


図 7 計算・実測ピーク流量高の比較

そのため、地理情報として河川分類指標を総合化式に取り入れることは有意であると判断できる。

式(5)の有意性を確認するために土器川流域常包橋上流域において検証を行った。図(9)に表したようにピーク流量の計算値と実測値を比較するとやや過小評価ではあるものの、傾向としては式(5)の結果、図(7)の傾向と同様である。再現結果としては、まずまずの結果を得られている(図10)また、検証に用いた15の洪水イベントにおけるNS係数 e が平均で $e = 0.711$ になり、対象イベント全体より良い結果を得ることができ、ある程度実用可能であることが証明された。

8. 結論

本研究では、北海道内の一級河川13水系で発生した洪水イベントを対象に、モデルの実用性を高められるよう、流域面積から定数を定めることのできる、貯留関数法の定数推定式を導いた。また、導いた定数推定式を発展させる形で、河川分類指標を用いた新たな定数推定式を提案したところ、いくつかの流域に対して良好な結果を得られ、これらの指標を取り入れる事で定数推定式の精度を高められる可能性が判明した。提案した式を用いて対象流域と異なる土器川水系土器川、常包橋上流域で流出解析を行ったところ、良好な結果を得ることができ、他流域においてもある程度実用可能であることが証明された。

参考文献

- 1)北海道内一級河川洪水データ集，第1巻～第4巻，北海学園大学工学部土木工学科，2003
- 2)木村俊晃：貯留関数法，河鍋書店，1975
- 3)永井明博・角屋睦・杉山博信・鈴木克英：貯留関数法の総合化，京都大学防災研究所年報，第25号B-2，1982
- 4)Nash.J.E.and.J.V.Sutcliffe：River Flow Forecasting Through Conceptual Models Part1，A Discussion of Principles.J.Hydrol，10，pp282-290，1970

表 1 残差範囲・NS 係数

	式5	式4
範囲内データ数	283	253
データ割合	0.767	0.686
平均NS係数	0.661	0.643

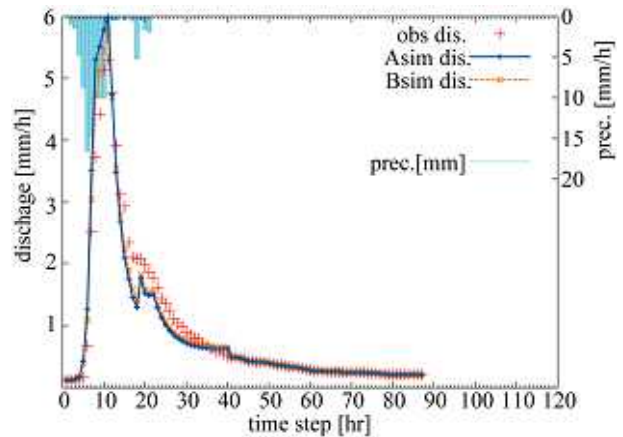


図 8 式(5)を用いた再現結果

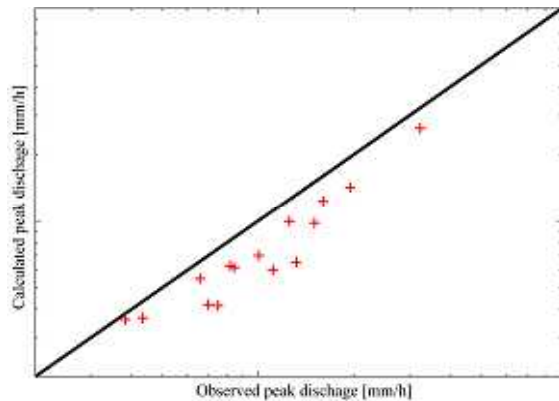


図 9 検証流域の計算・実測ピーク流出高比較

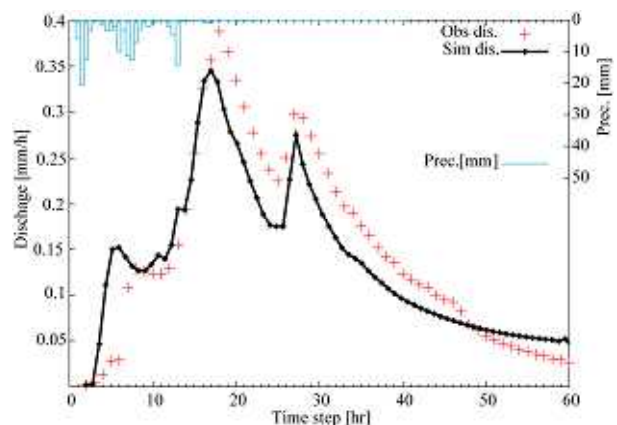


図 10 常包橋流域の再現例